Aus der Abteilung für Zahnerhaltung (Leiter: Prof. Dr. A. Kröncke)
des Zahnärztlichen Institutes der Universität Tübingen
(Direktor: Professor Dr. Dr. E. Fröhlich)

Klinisch-experimentelle Untersuchungen zur Frage der Reparation von Säuredefekten an der Oberfläche des menschlichen Zahnschmelzes

Inaugural-Dissertation

zur
Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
einer
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von

Hans-Peter Traub

aus Stuttgart

1964

7748

Aus der Abteilung für Zahnerhaltung (Leiter: Prof. Dr. A. Kröncke)
des Zahnärztlichen Institutes der Universität Tübingen
(Direktor: Professor Dr. Dr. E. Fröhlich)

Klinisch-experimentelle Untersuchungen zur Frage der Reparation von Säuredefekten an der Oberfläche des menschlichen Zahnschmelzes

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Hans-Peter T r a u b
aus Stuttgart
1964

Dekan: Professor Dr. H. Harms

1. Berichterstatter: Professor Dr. A. Kröncke

2. Berichterstatter: Professor Dr. Dr. E. Fröhlich

MEINEN ELTERN

und

MEINER FRAU

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547602_0097

I N H A L T S Ü B E R S I C H T

Seite

I. Einleitung und Problemstellung 1

II. Literaturübersicht 3

III. Material und Methoden 6

1. CRT-Test 6
2. Abdruckmethode 7
3. Gerätbeschreibung 7
4. Untersuchung auf Karies 13

IV. Ergebnisse 15

V. Diskussion der Ergebnisse 22

VI. Zusammenfassung 25

VII. Literaturverzeichnis 27

An dieser Stelle möchte ich
Herrn Professor Dr. A. K r ö n c k e
für die Überlassung des Themas und die
Anleitung zu dieser Arbeit danken.

I. Einleitung und Problemstellung

Der CRT-Test wurde zum ersten Mal von WALTER 1958 beschrieben und später von MÜHLEMANN und Mitarbeitern für verschiedene Untersuchungen benützt, wobei hauptsächlich die Herabsetzung der Schmelzlöslichkeit durch organische Fluoride untersucht wurde.

CRT ist die Abkürzung für den Begriff "Color reaction time". Das Testverfahren beruht auf folgendem Prinzip: ein Filterpapierscheibchen wird mit Kristallviolett (pH-Indikator) getränkt und mit einer genau bestimmten Menge Salzsäure beschickt. Dieses Indikatorplättchen wird auf eine gereinigte Schmelzoberfläche gebracht. Die Zeit vom Aufbringen des Testplättchens bis zum Farbumschlag des pH-Indikators durch die Neutralisation der Salzsäure wird gemessen. Dabei werden Mineralien, besonders Kalziumionen aus der Schmelzoberfläche herausgelöst,und es entsteht, auch klinisch erkennbar, eine umschriebene Säureerosion an der Schmelzoberfläche.

Man kann beobachten, daß dieser Oberflächendefekt individuell unterschiedlich schnell innerhalb weniger Tage bis Wochen verschwindet. Damit stellt sich die Frage, ob es sich um regelrechte reparative Prozesse im Sinne der Remineralisation (ANDRESEN, 1921) handelt, oder ob die Säureerosionen z.B. durch Abrasionsprozesse eingeebnet werden.

Nachfolgend soll deshalb mit Hilfe des CRT-Testes und Rauhtiefenmessungen folgendes untersucht werden:

1. Wird ein künstlich gesetzter Schmelzdefekt wieder ausgeglichen? Wenn ja, in welcher Zeit?

2. Welche Eigenschaften, charakterisiert durch die Rauhtiefe, hat während dieser Zeit die Defektoberfläche im Vergleich zur unbehandelten Schmelzoberfläche?

3. Besteht ein Zusammenhang zwischen primärer Schmelzrauhigkeit und Karieshäufigkeit?

II. L i t e r a t u r ü b e r s i c h t

1908 beschrieb K U L K A zum ersten Mal die Möglichkeit der Wiederzuführung von "Kalk" aus dem Speichel an Phosphate des Schmelzes, die teilweise zersetzt sind. Er stellte die Hypothese auf, daß ein durch Säure verursachter Defekt an der Schmelzoberfläche durch den Speichel wieder ausgeheilt werden kann (M Ü L L E R - S T A D E).

H E A D unternahm 1910 den Versuch, auf einem Zahn mit Apfelsinensaft einen Defekt zu setzen. Anschließend bewahrte er den Zahn in menschlichem Speichel bei Körpertemperatur auf. Er beobachtete, daß der Defekt nach 5 Tagen verschwunden war. Er stellte die Behauptung auf, daß das Wiedererhärten eine Art Rekristallisation im Schmelz sei, die nicht nur vom Speichel, sondern auch vom CO_2-Gehalt der Ausatmungsluft abhängig sei.

1921 wurde von A N D R E S E N der Begriff der exogenen Remineralisation geprägt. Er nahm an, daß dem Schmelz Stoffe zugeführt werden können, die eine Härtung bewirken. Und zwar sollen die Kalksalze in Verbindung mit Albumin in die organische Substanz des Schmelzes diffundieren, dort als Calcaglobulin zum Niederschlag kommen und so eine Erhärtung bewirken. Er zog daraus den Schluß, daß man diesen Vorgang durch geeignete medikamentöse Behandlung nachahmen könne.

T Ü R K H E I M (1925) schrieb dem Speichel ebenfalls remineralisierende Eigenschaften zu. Er berichtete, daß man täglich beobachten können, wie das Stumpfwerden der Zähne nach dem Genuß saurer Speisen nach kurzer Zeit wieder verschwindet, weil wahrscheinlich eine Einlagerung von Kalksalzen aus dem Speichel erfolge.

N I S H I M U R A (1926) behauptete dagegen, daß der Kalk, der zur Remineralisation nötig ist, nicht aus dem Speichel stamme, sondern von den aufgelösten Kalksalzen des Zahnes herrühre.

P R O E L L erzeugte 1928 im Tierversuch an marktoten Zähnen Transparenz und schrieb, daß es sich deshalb nicht um einen vitalen, sondern um einen physiko-chemischen Vorgang handeln müsse.

In einer Buchbesprechung griff G R E V E (1926) die Theorie A N D R E S E N S heftig an, gestand ihm aber zu, daß sich mechanisch einige Kalkpartikel in mikroskopisch kleinen präformierten Lücken ablagern können. Ferner gab er zu, daß in der Arbeit A N D R E S E N S Gedanken enthalten seien, die sich verwirklichen ließen.

Ebenso zweifelte F A B I A N (1926) die Remineralisation an und betonte, daß man mit einem Kalkpräparat von außen keine Kariesprophylaxe betreiben könne.

1930 schrieb E H R E N S B E R G E R , daß die Remineralisation in den Fällen möglich wäre, wo die organische Substanz des Schmelzes vollständig erhalten wäre. Außerdem wäre die Remineralisation reversibel und nicht von dauerndem Bestand, sobald die Flüssigkeit, die den Zahn umgibt, entkalkende Eigenschaften besäße.

K R A U S (1934) sah in der Remineralisation im wesentlichen einen Neutralisationsvorgang und nicht einen Mineralisationsprozess aus dem Speichel: die Bindung der Salze wäre abhängig von der Reaktion der Lösung, von der Kalksalzkonzentration und von dem isoelektrischen Punkt des Eiweißes.

W O L F und N E U W I R T beobachteten 1941 mit Hilfe der Reliefadhäsionsmethode (W O L F 1940) die Remineralisationsvorgänge direkt in der Mundhöhle mikroskopisch bis in alle Einzelheiten. Sie stellten folgendes fest: Es bestehen Intensitätsschwankungen in Bezug auf die individuellen reparatorischen Fähigkeiten. Die Pulpa scheidet als in Frage kommende Kalkquelle aus. Das Parodontium kommt ebenfalls als Transporteur des Kalks nicht in Frage. Beschliffene Kauflächen und natürliche Schmelzsprünge heilen unter Bildung einer homogenen Kalkschicht aus. Der

Speichel schützt den Zahn mit Hilfe seines Kalkgehaltes gegen äußere kariesfördernde Einflüsse.

E G G E R S - L U R A (1949) nahm ebenfalls eine Mineralisation der Zahnhartsubstanzen über den Speichel an. Er hat unter anderem nachgewiesen, daß gleichartige Fermente in Blut und Speichel vorkommen.

R H E I N W A L D und S T A E H L E (1949) stellten bei ihren Versuchen fest, daß bei kariesresistenten Personen ein künstlich gesetzter Defekt geschlossen wird, daß aber bei kariesanfälligen der gleiche Defekt nicht kompensiert wird, sondern sich sogar noch verstärkt.

R A T H J E (1950) verabreichte 9 kariesanfälligen Kindern "Neucesol", ein Pharmakon, das den Speichelfluß anregt. Nach 5 Tagen verminderte sich die Zahl der acidophilen Bakterien und an einigen flächenhaften Kariesherden wurde eine beginnende Erhärtung beobachtet.

Nach der Kariestheorie von K N A P P W O S T (1952) werden initiale Korrosionsdefekte durch aus dem Speichel ausfallende Hydroxylapatit-Deckschichten repariert. Die Deckschichtenbildungsgeschwindigekti hängt physikalisch-chemich definierbar von der Viskosität des Speichels ab.

Nachfolgend sollen die als Remineralisation bezeichneten Vorgänge in vivo untersucht werden. Mit Hilfe des CRT-Testes und anschließenden Rauhtiefenmessungen der angeätzten Stelle soll nachgeprüft werden, ob eine Remineralisation stattfindet, in welcher Zeit sie von statten geht und wie sich das Bild der Schmelzoberfläche während dieser Zeit ändert, ferner, ob ein Zusammenhang zur Karieshäufigkeit festzustellen ist.

III. M a t e r i a l und M e t h o d e n

An 11 ungefähr gleichaltrigen Personen wurde jeweils auf der labialen Fläche des rechten mittleren oberen Schneidezahns der CRT-Test durchgeführt. Bei jeder Versuchsperson wurden zu bestimmten Zeitpunkten Abdrücke dieser Zahnfläche angefertigt und profilographisch ausgemessen. Pro Abdruck wurden 10 Messungen vorgenommen; das ergab also bei 6-7 Abdrücken je Versuchsperson insgesamt 720 Profilogramme. Von den 10 Profilogrammen eines jeden Abdrucks wurden die charakteristischsten ausgewertet. Ausgemessen wurden also insgesamt 144 Profilogramme mit je 15-25 Einzelwerten. Vor jedem Abdruck wurden die Zähne mit 3%igem H_2O_2 gereinigt und anschließend mit Solaesthin^R getrocknet.

1. Der CRT-Test

Das von M Ü H L E M A N N angegebene Filterpapier (SS 597, Schleicher und Schüll) wurde 30 sec in eine 0,02%ige wässrige Lösung von Kristallviolett (Merck Nr. 1407) getaucht und anschließend bei Zimmertemperatur getrocknet. Dann wurden mit einer Lochzange Plättchen von 2 mm Durchmesser ausgestanzt und lichtgeschützt aufbewahrt. Kristallviolett ist bei pH-Werten um 0 gelb, bei pH 1 grün und schlägt bei pH 2 nach violett um. Der Farbumschlag erfolgt in fließenden Übergängen; es ist schwer und erfordert eine gewisse Erfahrung, den genauen Zeitpunkt des Farbumschlags festzulegen.

Mit einer Mikroinjektionsspritze (40 µ l, Bodenseewerk Perkin-Elmar & Co.) mit Subkutankanülen Nr. 20 wurde Salzsäure auf das Indikatorplättchen gebracht. Für jeden Versuch wurden (nicht wie bei M Ü H L E M A N N 2 u l und bei C O N R A D 1,5 µ l) nur 1 µ l einer $\frac{n}{1}$ HCl angewandt, damit kein zu großer Defekt entsteht. Nachdem das Testplättchen auf den Zahn aufgelegt worden war, wurde der Farbumschlag nach violett abgewartet. Dann wurde es sofort wieder

entfernt. Auf diese Weise wurde erreicht, daß immer gleich viel Mineralien aus der Zahnoberfläche herausgelöst wurden. Die Zeiten vom Auflegen des Plättchens bis zum Farbumschlag nach violett wurden mit einer Stoppuhr gemessen. In den Ergebnissen sind Minuten und Sekunden durch einen Punkt getrennt.

2. Abdruckmethode

Zur Untersuchung der Schmelzoberfläche wurden vor und unmittelbar nach dem CRT-Test Abdrücke der gesammten labialen Zahnfläche mit Palavit G^{R} hergestellt; weitere Abdrücke wurden in bestimmten Zeitabständen wiederholt (s.unten).

Die Oberfläche des Zahnes wurde vor jedem Abdruck mit 3 %igem H_2O_2 gereinigt und mit Solaesthin^{R} getrocknet. Ein harter Pinsel wurde mit Palavit G^{R}-Monomer getränkt und mit Palavit G^{R}-Pulver bestreut. Dann wurde das Abdruckmaterial in sahniger Konsistenz auf den trockenen Zahn aufgebracht, während eine Watterolle den Speichel abhielt. Der Abdruck umfaßte die ganze Zahnoberfläche einschließlich Schneidekante. Das Material erhärtete nach etwa 3 Minuten und konnte dann mit der Sonde abgehoben werden.

Bei jeder Person wurde ein Abdruck vor dem CRT-Test gemacht, der nächste unmittelbar nach dem Test; weitere Abdrücke folgten am 3., 7., 21. und 28. Tag. Bei 5 Personen konnten die Versuche dann eingestellt werden, da die Säuremarke nicht mehr sichtbar war. Bei den restlichen 6 Probanden wurden die letzten Abdrücke nach 7 bzw. 8 Wochen angefertigt.

3. Gerätbeschreibung

Mit dem Profilographen Type 5.814 nach Dr. Förster-Reutlingen wurden Rauhtiefenmessungen im Bereich der Säuremarken auf den Palavit G^{R}-Abdrücken vorgenommen.

Definition der Oberflächenrauhigkeit:
Nach de Vries besteht das Oberflächenprofil geometrisch aus

3 separaten Profilen: Formprofil, Wellenprofil,und Rauhigkeitsprofil. Das Wellenprofil entspricht den mittleren Unregelmäßigkeiten der Schmelzoberfläche. Es stellt die Makrostruktur dar. Das Rauhigkeitsprofil entspricht der Mikrostruktur.

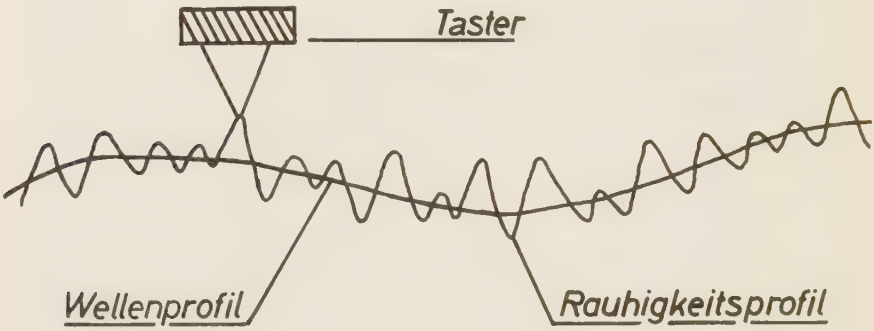

Abb. 1: Wellenprofil = Makrostruktur
Rauhigkeitsprofil = Mikrostruktur

Bei den nachfolgenden Untersuchungen wurde der Problemstellung entsprechend nur das Rauhigkeitsprofil berücksichtigt. Es entsteht, wenn die Saphirnadel über die Feinstruktur der Oberfläche gleitet.

Die Rauhtiefe:
Die Rauhtiefe = Rt ist die Entfernung zwischen Lh (=Hüllinie) und Lg (=Grundlinie).
Sie wird mathematisch folgendermaßen definiert:

$$Rt = y \max$$

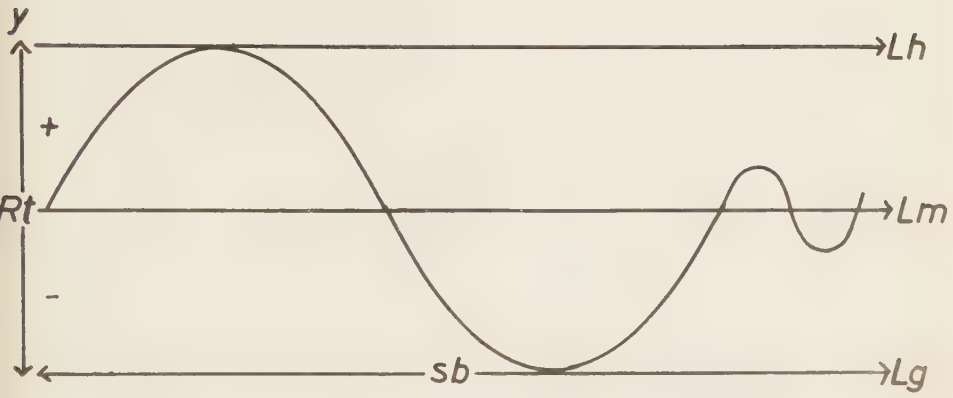

Abb. 2: Lh = höchster Punkt des Profils
Lm = innerhalb der Bezugsstrecke identisch mit dem Wellenprofil (Mittellinie)
Lg = tiefster Punkt des Profils (Grundlinie)

Die mittlere Rauhtiefe ist definiert durch den Abstand der Mittellinie Lm von der Grundlinie Lg (s.Abb.2).

$$Rm = \frac{\Sigma y}{n} = \frac{1}{sb} \int_0^{sb} y \cdot dx$$

Da es sich bei den nachfolgenden Untersuchungen um unregelmäßige Kurven handelt, ist die Bestimmung der mittleren Rauhtiefe nicht in dieser Weise möglich. Es wurden die Abstände der oberen von den unteren Umkehrpunkten der Kurven gemessen und daraus der Mittelwert berechnet.

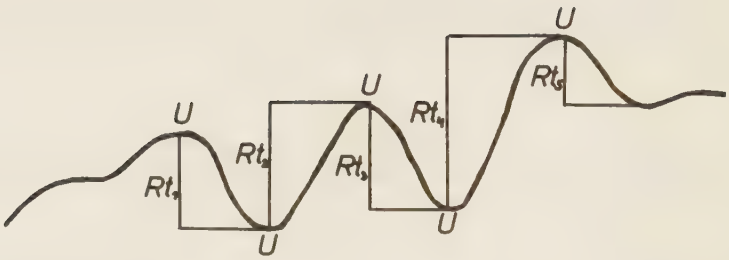

Abb. 3: Schematisches Beispiel für die Bestimmung der mittleren Rauhtiefe bei unregelmäßigem Rauhigkeitsprofil.
Rt = Rauhtiefe
U = Umkehrpunkte

Prinzipielle Arbeitsweise des Geräts:
Mit einer Saphirnadel wird die Oberfläche des zu untersuchenden Objektes abgetastet. In einem elektromechanischen Wandlersystem werden die Nadelbewegungen in elektrische Spannungen umgewandelt. Diese Spannungsveränderungen sind der Tastnadelbewegung direkt pooportional. Die Spannungen werden verstärkt und einem Schreibsystem zugeleitet. Auf einem schwarzen Papierband, das eine weiße, wachsartige Kunststoffschicht trägt (Hellige-Kontrast-Papier), wird das Oberflächenprofil sofort formgetreu aufgezeichnet. Durch eine elektrisch geheizte Schreibnadel wird die Kunststoffschicht während des Aufzeichnens geschmolzen. Der schwarze Untergrund des Papiers wird dadurch sichtbar. Somit ergibt sich eine scharfe, schwarze Schreiblinie auf dem Papierstreifen. Das Papierband wird mit einer konstanten Geschwindigkeit (20 mm/sec) an der Schreibnadel vorbeigezogen.

Das Meßsystem:
Das Meßsystem befindet sich in dem beweglich gelagerten Teil. Mit einem Gewicht von weniger als 0,1 g liegt die

Tastnadel auf der abzutastenden Oberfläche; diese wird durch das geringe Auflagegewicht nicht beschädigt. Die Saphirnadel wird durch einen ölhydraulischen Vorschub mit gleichmäßiger Geschwindigkeit über die Fläche bewegt. Die Tastnadel ist nur in einer Ebene, d.h. vertikal, beweglich. Wegen der überaus großen Empfindlichkeit des Geräts müssen die Messungen in einem ruhigen Raum vollkommen erschütterungsfrei durchgeführt werden.

Durch einen Meßbereichtumschalter ist die Vertikalvergrößerung in 6 Stufen umschaltbar:

Meßbereich µ	Vertikalvergrößerung	30 mm Schreibbreite entsprechen einer Rauhtiefe von
0-100	300- fach	100 µ
0- 30	1000- fach	30 µ
0- 10	3000- fach	10 µ
0- 3	10000- fach	3 µ
0- 1	30000- fach	1 µ
0-0,3	100000- fach	0,3 µ

Für die folgenden Untersuchungen wurde der Meßbereich 0-30 µ und ein Papiervorschub von 20 mm/sec gewählt. Diese Einstellung erwies sich als geeignet, weil die Maximalausschläge der Schreibnadel auf diese Weise innerhalb des Schreibbereiches blieben.

Die Messungen:
Von jedem Zahn wurden mindestens 6-7 Palavit G^R-Abdrücke ausgetastet, die zu den oben genannten Zeitpunkten abgenommen wurden. Vorversuche hatten ergeben, daß man die Tasternadel nicht ohne weiteres wieder an den gleichen Stellen der verschiedenen Abdrücke aufsetzen konnte. Auch konnte die gleiche Neigung der Abdrücke der Tasternadel nicht stets mit hinreichender Genauigkeit wiedereingestellt werden, was für die grobe Form der Kurven ausschlaggebend war. Es entstanden andere Kurven, die nicht ohne weiteres mit-

einander verglichen werden konnten. Deshalb wurde jeweils von dem 1.Abdruck, der vor dem CRT-Test gemacht wurde, ein Positiv aus Wunderstein (Ransom and Randolph, DUROC) hergestellt (Abb.4).

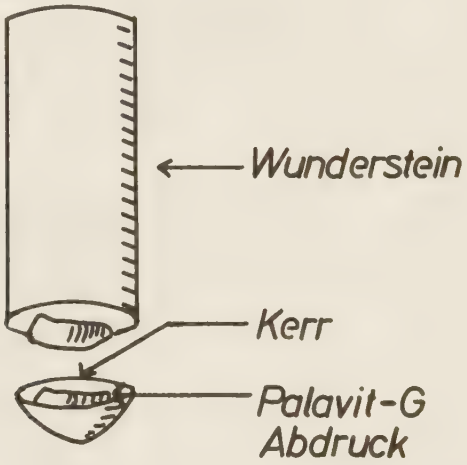

Abb. 4: Positiv aus Wunderstein und Palavit G^R-Abdruck mit Kerr-Abdruckmasse überdeckt.

Der Abdruck konnte dadurch, daß die Schneidekante stets miterfasst wurde, genau wieder auf dem Positiv fixiert werden. Der fixierte Abdruck wurde außerdem noch mit Kerr-Abdruckmasse überdeckt, damit er beim Auf- und Absetzen besser zu fassen war. Das Positiv wurde mit einer eigens dafür konstruierten Halterung an dem Tastergerät befestigt: durch ein Scharnier und einen Stützstift konnten alle Abdrücke einer Versuchsperson immer wieder in die gleiche Lage zum Taster gebracht werden (Abb.5). Die Saphirnadel tastete also immer die gleiche Stelle auf den verschiedenen Abdrücken in der gleichen Neigung aus. Die Oberflächenveränderungen konnten so genau beobachtet werden.

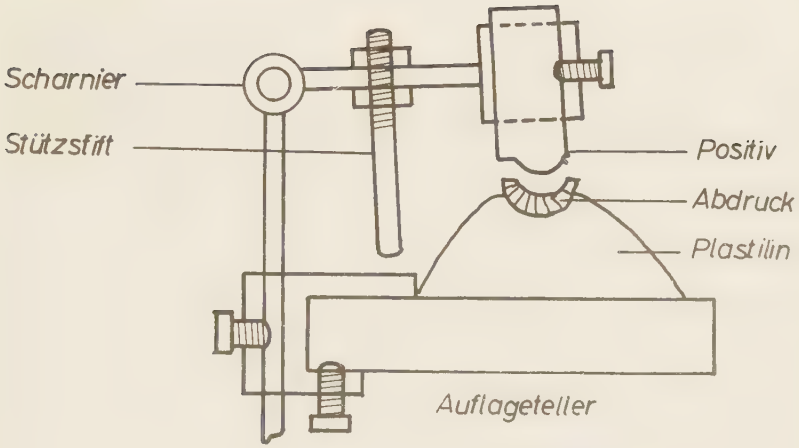

Abb. 5: Halterung zur Fixierung der einzelnen Abdrücke auf dem Auflageteller des Tastergeräts.

An jedem Abdruck wurden 10 Messungen mit der Länge 2 mm im Bereich der Säuremarke vorgenommen. Davon wurden die am meisten charakteristischen Kurvenstrecken, im Durchschnitt 2-3, ausgewertet. Das Gerät besitzt ein Stativ, auf dem der Prüfkörper mittels des Scharniers (s.oben) genau fixiert wurde. Der Auflageteller des Stativs kann auf 10 µ genau senkrecht zur Tastnadelbewegung verschoben werden. Die Messungen konnten also immer im gleichen Abstand voneinander durchgeführt werden.

4. Untersuchung auf Karies

Die 11 Versuchspersonen wurden klinisch auf Karies untersucht. Gezählt wurden die kariösen, gefüllten und extrahierten Zähne (DMF-Zähne). Die Weisheitszähne wurden nicht berücksichtigt (Tab.I).

Tabelle I.

Versuchs-Nr.	Name und Geschlecht	Alter in Jahren	DMF-Zähne in %
1	H.Q. ♀	25	53
2	U.B. ♀	37	64
3	I.S. ♀	27	42
4	I.E. ♀	25	57
5	R.B. ♀	25	18
6	G.D. ♂	25	46
7	D.P. ♀	23	50
8	W.K. ♂	25	43
9	T.M. ♀	29	10
10	M.B. ♀	19	28
11	J.Z. ♀	17	60

Tabelle I: Alter, Geschlecht und Karieseinheiten (DMF-Zähne) der Versuchspersonen.

IV. Ergebnisse

Jeweils 6-7 Palavit G^{R}-Abdrücke, die vor und nach dem CRT-test bei 11 Versuchspersonen zur Beobachtung der Remineralisation gemacht wurden, wurden mit dem Profilographen ausgetastet. An jedem Abdruck wurden 10 Messungen im Parallelabstand von 20 µ und auf einer Meßstrecke von 2 mm vorgenommen. Davon zeigten durchschnittlich 2-3 Messungen (=Profilogramme) besonders gut vergleichbare Strecken, die ausgewertet werden konnten. Jede Kurvenstrecke lieferte etwa 15-25 Einzelwerte zur Berechnung der mittleren Rauhtiefe.

Die mittlere Rauhtiefe der einzelnen Zahnoberflächen vor dem CRT-Test wurden der Karieshäufigkeit (DMF-Zähne), den individuellen CRT-Werten, der Zeitdauer der Reparation oder Remineralisation und schließlich der Mund- und Zahnpflege gegenübergestellt. Ferner wurden die fortlaufenden Veränderungen der mittleren Rauhtiefen nach der Säureätzung beobachtet und auf irgendwelche Zusammenhänge mit den oben genannten Werten hin untersucht.

Tabelle II.

Vp. Nr.	Rauhtiefen in µ				CRT-Werte in Min.	DMF-Zähne in %
	min.	max.	Mw.	N		
1	0,03	0,6	0,12	27	1.12,1	53
2	0,01	0,5	0,12	44	1.46,1	64
3	0,01	0,8	0,18	44	1.19,9	42
4	0,01	0,5	0,21	51	1.26,9	57
5	0,01	0,8	0,26	30	1.51,4	18
6	0,01	1,8	0,35	28	1.24,4	46
7	0,10	2,7	0,72	16	1.16,5	50
8	0,09	2,9	0,81	47	1.29,9	43
9	0,02	1,7	1,01	24	2.05,2	10
10	0,01	2,5	1,17	24	1.11,5	28
11	0,10	3,7	1,39	29	1.18,8	60

Tabelle II: Die mittleren Rauhtiefen der Schmelzoberflächen vor dem CRT-Test bei ungefähr gleichaltrigen Versuchspersonen in aufsteigender Reihenfolge in der Gegenüberstellung zu den CRT-Werten und den DMF-Zähnen.
Vp. = Versuchspersonen
min.= Minimalwerte der Einzelmessungen
max.= Maximalwerte der Einzelmessungen
Mw. = Mittelwerte der Rauhtiefen
N = Anzahl der Einzelmessungen

Aus Tabelle II ist zu ersehen, daß die mittleren Rauhtiefen der Schmelzoberflächen der einzelnen Versuchspersonen sehr unterschiedlich sind. Eine Übereinstimmung mit den nachträglich festgestellten CRT-Werten und mit der Anzahl der DMF-Zähne ist nicht festzustellen. Es bestehen außerdem keine Zusammenhänge zwischen CRT und DMF-Zähnen.

Tabelle III.

Versuchs-personen Nr.	mittl.Rauh-tiefen in µ	Zeitdauer T in Wochen	Mundpflege pro Tag
1	0,12	8	2-3 mal
2	0,12	8	2-3 "
3	0,18	8	2-3 "
4	0,21	8	2 "
5	0,26	8	2 "
6	0,35	8	2 "
7	0,72	4	2 "
8	0,81	4	1-2 "
9	1,01	4	1-2 "
10	1,17	4	1-2 "
11	1,39	4	2 "

Tabelle III: Zusammenstellung der mittleren Rauhtiefen des unbehandelten Schmelzes und der Zeiten bis zum völligen Verschwinden der Säure-marken (T). Zum Vergleich die Häufigkeit der Mund- und Zahnpflege.

Wenn man in Tabelle III die Zeitdauer bis zum Verschwinden der Säuremarke betrachtet, fällt auf, daß die Versuchs-personen in 2 Gruppen unterteilt werden können.
Gruppe 1 mit verhältnismäßig glattem Schmelz
(mittlere Rauhtiefe vor CRT-Test kleiner als 0,5 µ)
Gruppe 2 mit rauhem Schmelz
(mittlere Rauhtiefe vor CRT-Test größer als 0,5 µ).
Bei Gruppe 1 beträgt die Zeit bis zum Verschwinden der Säuremarke durchschnittlich 8 Wochen, bei Gruppe 2 dagegen nur 4 Wochen. Die Versuchspersonen der Gruppe 1 bürsten sich häufiger die Zähne als die der Gruppe 2. Es ist des-halt zu diskutieren, ob der Vorgang der Reparation oder Remineralisation durch häufiges Zähnebürsten verzögert wird.

Abb. 6: Darstellung eines primär glatten Schmelzes nach Aufzeichnungen des Profilographen. Die Ziffern geben die Nummer des Abdrucks an (s.Tab.IV, Legende).

In der Abbildung 6, die profilographische Aufzeichnungen einer fortlaufenden Rauhtiefenänderung bei einem primär glatten Schmelz (Versuchsperson Nr. 5: mittlere Rauhtiefe vor CRT 0,26 u) zeigt, ist der starke Anstieg der Rauhigkeit nach dem CRT-Test deutlich zu erkennen (Kurve 1 ff).

Tabelle IV.

Versuchspersonen Nr.	0 µ	1 µ	2 µ	3 µ	4 µ	5 µ	6 µ
1	0,12	0,23	0,14	0,14	0,09	0,08	0,07
2	0,12	0,26	0,22	0,20	0,19	0,17	0,13
3	0,18	0,30	0,23	0,19	0,18	0,16	0,15
4	0,21	0,46	0,35	0,29	0,25	0,24	0,22
5	0,26	0,76	0,68	0,51	0,38	0,34	0,26
6	0,35	0,37	0,33	0,29	0,21	0,19	0,22
7	0,72	0,63	0,50	0,41	0,40	0,53	
8	0,81	0,69	0,68	0,66	0,67	0,65	
9	1,01	0,80	0,67	0,75	0,80	0,98	
10	1,17	0,52	0,48	0,34	0,44	0,39	
11	1,39	0,82	0,72	0,57	0,71	0,73	

Tabelle IV: Fortlaufende Veränderung der mittleren Rauhtiefen nach der Säureeinwirkung.
Abdruck 0 = vor CRT
" 1 = unmittelbar danach
" 2 = nach 3 Tagen
" 3 = nach 7 Tagen
" 4 = nach 3 Wochen
" 5 = nach 4 Wochen
" 6 = nach 7 bzw. 8 Wochen

Die Tabelle IV läßt erkennen, daß Gruppe 1 und 2 sich in ihrem Verhalten, d.h. in der Veränderung der Schmelzoberfläche (Rauhigkeit), unterscheiden. Bei der 1. Gruppe tritt nach der Säureätzung ein mehr oder weniger starker Anstieg der mittleren Rauhtiefe ein. Bei der 2. Gruppe mit primär unebener Schmelzoberfläche nimmt die Rauhigkeit nach dem CRT-Test ab.

Auch der weitere Verlauf der Rauhtiefenänderungen an den mit Säure angerauhten Schmelzoberflächen ist bei den einzelnen Gruppen unterschiedlich. Die Gruppe 1 weist nach Erreichen der größten Rauhtiefen unmittelbar nach der Säureeinwirkung einen langsamen, gleichmäßigen Abfall der mittleren Rauhtiefen auf; diese gehen erst nach annähernd der doppelten Zeit gegenüber der Gruppe 2 (Tab.III) auf ihren Ausgangswert oder einen kleineren Wert zurück. Die Gruppe 2 zeigt im Verlauf der Reparationsvorgänge nach dem starken Abfall der Rauhtiefen gleich nach dem CRT-Test ein weiteres langsames Absinken der mittleren Rauhtiefen bis zur 3. Woche. Nach der 4. Woche ist makroskopisch der Säurefleck nicht mehr zu erkennen gewesen. Die mittlere Rauhtiefe steigt bis dahin in einzelnen Fällen der Gruppe 2 wieder ein wenig an, bei anderen bleibt sie gleich.

Tabelle V.

Abdruck	0	1	2	3	4	5	6
Gruppe 1 Versuchspers. 1-6	0,2	0,4	0,38	0,27	0,21	0,2	0,16
Gruppe 2 Versuchspers. 7-11	1,02	0,68	0,61	0,54	0,60	0,66	

Tabelle V: Zusammenstellung der Rauhtiefenmittelwerte: pro Abdruck für jede Gruppe ein Mittelwert. Die Werte sind in u angegeben.

In Tabelle V sind die Gruppen 1 und 2 getrennt und zusammengefaßt aufgeführt. Bei jeder Gruppe wurde pro Abdruck ein Gesamtmittelwert aus den Mittelwerten der einzelnen Versuchspersonen errechnet.

Gruppe 1: Versuchspersonen 1 - 6
Gruppe 2: Versuchspersonen 7 - 11

Diese Mittelwerte zeigen den jeder Gruppe von Versuchspersonen eigenen unterschiedlichen Verlauf der Reparations-

vorgänge deutlich, wie besonders die graphische Darstellung (Abb.7) erkennen läßt.

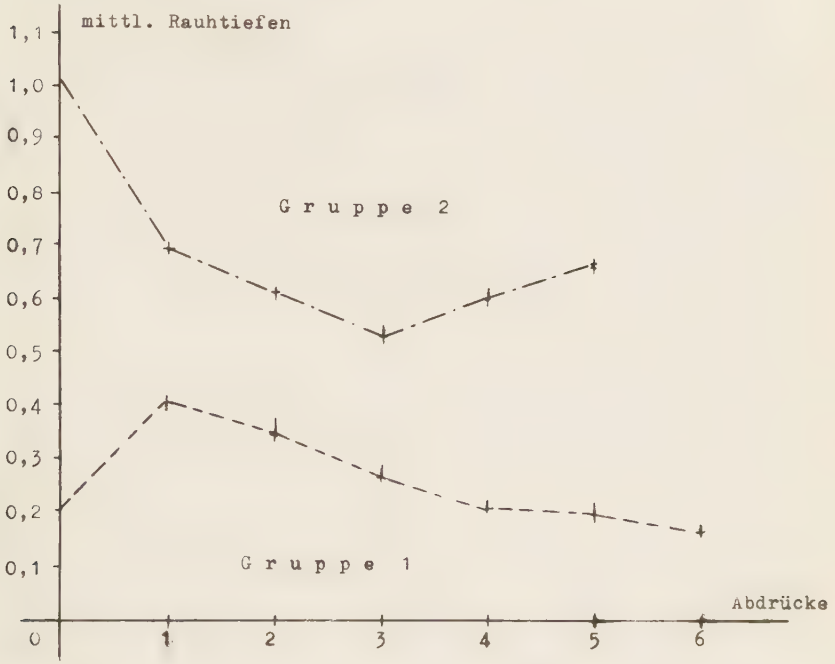

Abb. 7: Graphische Darstellung der fortlaufenden Veränderungen der mittleren Rauhtiefen der Gruppen 1 und 2 nach Tabelle V.

V. Diskussion der Ergebnisse

Die mittlere Rauhtiefe der unbehandelten Schmelzoberfläche ist, an stets vergleichbaren Stellen gemessen, bei den 11 Versuchspersonen sehr unterschiedlich. Ein Zusammenhang mit der Zahl der DMF-Zähne ist nicht festzustellen. Die gleichen Beobachtungen machte H. T R A U B bei klinisch-experimentellen Oberflächenuntersuchungen über Perikymatien und deren Beziehungen zur individuellen Karieshäufigkeit. Auch die individuellen CRT-Werte zeigen keine Übereinstimmung mit den mittleren Rauhtiefen der natürlichen Schmelzoberfläche.

Die mit dem Profilographen aufgezeichneten Kurven (s.Abb.6) und die daraus errechneten Werte weisen eindeutig auf ein Verschwinden der Säuremarke hin, was mit den rein makroskopischen Beobachtungen übereinstimmt. Nach 4-8 Wochen war der kreisrunde Oberflächendefekt, der unmittelbar nach den CRT-Test bei allen Versuchspersonen gut zu erkennen war, nicht mehr sichtbar. Die Tasternadel konnte bei den verschiedenen Messungen immer wieder auf die zu vergleichende Stelle der einzelnen Abdrücke einer Versuchsperson aufgesetzt werden, so daß stets dieselben Stellen des Zahnes im Laufe der Wochen verglichen werden konnten. Der makroskopische Verlauf der Kurven war bei einer Versuchsperson deshalb mit ausreichender Sicherheit immer der gleiche. Somit waren die Kurven vergleichbar. Auf diese Weise konnte das Verhalten der Schmelzoberfläche beim Verschwinden der Säuremarke genau beobachtet werden.

Experimentelle Fehlerquellen: Es bestand die Möglichkeit, daß der Palavit G^{R}-Abdruck auf dem Positiv ein geringes Spiel hatte, so daß der Abdruck vielleicht um Bruchteile eines Millimeters verschoben wurde. Dieser mögliche Fehler wurde durch Parallelmessungen in 20 u Abstand ausgeglichen, so daß mit ziemlich hoher Sicherheit gesagt werden kann, daß die Tasternadel immer diesselben zu vergleichenden Stelle ausgetastet hat. Das unvermeidliche Spiel im Schar-

nier der Halterung, das das Positiv am Tastergerät fixierte, wurde durch die kurzgehaltene Länge des Schwenkhebels weitgehend ausgeschlossen.

Zusammenfassend lassen alle Messungen erkennen, daß alle durch Säureerosion veränderten Oberflächenbezirke des Schmelzes im Sinne einer Reparation oder von Remineralisationsvorgängen am Schmelz beseitigt werden. Es muß dabei zwischen Versuchspersonen mit primär glattem Schmelz und solchen mit primär rauhem Schmelz unterschieden werden. Eine Beziehung zu den CRT-Werten besteht bei dieser Gruppeneinteilung bemerkenswerterweise nicht. Glatter Schmelz wird durch die Säureeinwirkung rauh und glättet sich im Laufe von maximal 8 Wochen. Der Vergleich mit Replica-Studien (W O L F , N E U W I R T u.a.) läßt vermuten, daß die Schmelzprismen oberflächlich angelöst werden und die interprismatische Substanz stehen bleibt, wodurch ein Ansteigen der Rauhigkeit bewirkt wird.

Primär rauher Schmelz wird durch die Säureätzung glatter. Nach dem Bild der Kurven bei der Rauhtiefenmessung werden die Perikymatien in ihrer Höhe gekürzt, so daß eine gewisse Einebnung der vorher rauhen Oberfläche eintritt. Diese Feststellung kann jedoch zu der Annahme verleiten, daß in diesem Falle keine echte Reparation des Säuredefekts stattfindet, sondern nur eine geringe Glättung der angerauhten Perikymaiten. Der weitere Verlauf zeigt ja keine vollständige Wiederherstellung der ursprünglichen Verhältnisse, sondern die Rauhtiefen bleiben auf dem niedrigen Stand; sie steigen bis zum Verschwinden der Säureerosien nur noch wenig an.

Eine Übereinstimmung mit der Karieshäufigkeit ist in beiden Gruppen nicht festzustellen. Dies stimmt also nicht mit den Untersuchungen von R H E I N W A L D und S T A E H L E überein; sie stellten fest, daß bei kariesresistenten Personen ein künstlicher Defekt geschlossen wird, daß aber bei kariesanfälligen der gleiche Defekt nicht kompensiert wird, sondern sich sogar noch verstärkt. Bei den vorliegenden

Untersuchungen wurde aber ein Verschwinden der Säuremarke bei allen Versuchspersonen festgestellt, und die Geschwindigkeit dieses Vorganges war unabhängig von der Anzahl der DMF-Zähne.

Auffällig ist, daß alle Versuchspersonen, die sich 2-3 mal am Tage intensiv die Zähne putzen, einen relativ glatten Schmelz aufweisen, und daß bei ihnen das Verschwinden der Säuremarke nahezu doppelt so lange dauert wie bei der Gruppe, die sich nur 1-2 mal am Tage die Zähne putzt. Das unterstützt die Annahme, daß der Säuredefekt exogen durch Auflagerung im Sinne einer Remineralisation ausgeglichen wird (A N D R E S E N, K N A P P W O S T, M Ü L L E R - S T A D E, P R O E L L, W O L F und N E U W I R T). Diese Anlagerung wird vermutlich durch häufiges Zähnebürsten verzögert.

Die Annahme, daß der Säuredefekt durch Abrieb der Ränder eingeebnet werde, kann nicht aufrecht erhalten werden, da sonst die Geschwindigkeit, mit der der Fleck verschwindet, proportional der Häufigkeit des Zähnebürstens sein müßte.

Es kann kein Zweifel darüber bestehen, daß diese Experimente letztlich nicht beweisen können, ob die beobachteten Reparationsvorgänge mit der von A N D R E S E N beschriebenen Remineralisation identisch sind. Experimentell konnte jedoch die klinische Beobachtung untermauert werden, daß Oberflächendefekte im Zahnschmelz durch Säureerosion innerhalb von 4-8 Wochen ausgeglichen werden. Dabei sprechen die näheren Umstände der Versuchsanordnung und deren Ergebnisse mehr für eine Reparation der Defekte (möglicherweise identisch mit der Remineralisation) als für deren Einebnung durch Abrasion.

VI. Zusammenfassung

Bei 11 Versuchspersonen wurden durch den CRT-Test auf der Schmelzoberfläche künstliche Säuredefekte gesetzt.

Das Verschwinden der Säuremarke wurde über 4-8 Wochen beobachtet.

Das Oberflächenprofil wurde 6-7 mal in definierten zeitlichen Abständen mit einem Profilographen (Dr. Förster, Reutlingen) ausgetastet (jeweils 10 Parallelmessungen im Abstand 20 µ). Die Profilkurven wurden hinsichtlich der sich verändernden Rauhtiefe ausgewertet.

Die Untersuchungen ergaben:

1. Die mittlere Rauhtiefe der unveränderten Schmelzoberfläche ist sehr unterschiedlich. Es sind Werte zwischen 0,12 µ und 1,39 µ gemessen worden.

2. Ein Zusammenhang zwischen individueller Karieshäufigkeit und mittlerer Rauhtiefe der unbehandelten Schmelzoberfläche ist nicht zu erkennen.

3. Primär glatter Schmelz verhält sich nach der Säureätzung anders als unebener Schmelz. Die Ergebnisse deuten darauf hin, daß bei glattem Schmelz die Schmelzprismen oberflächlich angelöst werden, wodurch eine vergrößerte Rauhtiefe entsteht. Bei primär stark profiliertem Schmelz werden wahrscheinlich die Perikymatien eingeebnet, so daß der Schmelz gegenüber dem Ausgangbild glatter erscheint.

4. Primär glatter Schmelz ist ausschließlich bei solchen Probanden beobachtet worden, die ihre Zähne besonders gründlich und häufig putzen.

5. Das Verschwinden der Säureerosion erfolgt exogen, d.h. vom Speichel her.

6. Die unter 4. zusammengefassten Beobachtungen machen es wahrscheinlich, daß die Einebnung der Säuredefekte nicht auf Abrasion sondern auf Remineralisationsvorgänge zurückzuführen ist.

VII. Literatur-Verzeichnis

ANDRESEN, V. — Über Mineralisation und Remineralisation des Zahnschmelzes. Dtsch.Mschr.Zahnhk. 4, 14, 97ff, 417ff (1921).

CONRAD, U. — Untersuchungen über den sogenannten CRT-Test (Mühlemann) und seine Aussagefähigkeit über die Oberfläche des Zahnschmelzes. Diss. Tübingen (1961).

EGGERS-LURA, H. — Biochemie und der Stoffwechsel der harten Zahngewebe. Dtsch.Zahnärztl.Zschr. 4, 937 (1949).

EHRENSBERGER, M. — Über die künstlich erzeugte Caries incipiens des Schmelzes und über die Remineralisationsmöglichkeit der natürlich entstandenen Caries incipiens. Schweiz.Mschr.Zahnhk. 3, 129-152 (1930).

FABIAN, H. — Wie steht es mit der remineralisierenden und schützenden Wirkung des Präparates "Kalk-Eucerin"? Zahnärztl.Rdsch. 16, 287 (1926)

HEAD, J. — Enamel softening and reharding as a factor in erosion. Dental Cosmos 1, 46-48 (1910).

GREVE, H.Chr. — Bücherschau Zahnärztl.Rdsch. 45, 786 (1926).

KNAPPWOST, A. — Grundlagen der Resistenztheorie der Karies mit einem Beitrag über die karieshemmende Wirkung peroraler Fluorgaben. Dtsch.Zahnärztl.Zschr. 12, 670 (1952).

KRAUS, A. — Ein neues Prinzip als Grundlage einer Kariesprophylaxe. Zschr.Stomatologie 22, 1315 (1934).

MÜHLEMANN, H.R. und WOLGENSINGER, F. — In vivo Reduction of Enamel Solubility in Children Using an Organic Fluoride Dentifrice. Helvet.Odontol.Acta 3, 35-39 (1959).

MÜLLER-STADE, E. — Zur Remineralisationsfrage. Zahnärztl.Rdsch. 38, 1570 (1929).

NISHIMURA, T. — Histologische Untersuchungen über die Anfänge der Zahnkaries, speziell der Karies des Schmelzes. Schweiz.Mschr.Zahnhk. 8, 491 (1926).

PROELL, F. — Über mechanistische Vorgänge in den harten Zahnsubstanzen. Dtsch.Zahnärztl.Wschr. 21, 976 (1928).

RATHJE, W. — Zur Möglichkeit der Verminderung der Kariesanfälligkeit durch perorale Gaben von Neucesol. Dtsch.Zahnärztl.Zschr. 18, 1007 (1950).

RHEINWALD, U. und STAEHLE, G. — Untersuchungen zur Frage der Remineralisation. Stoma 4, 259 (1949).

TRAUB, H. — Klinisch-experimentelle Untersuchungen über Perikymatien und deren Beziehungen zur individuellen Karieshäufigkeit. Diss. Tübingen, noch nicht veröffentlicht.

TÜRKHEIM, H. — Cariesforschung. Fortschr.d.Zahnhk. 2, 105-107 (1925).

WALTER, H.G. — A Simple Laboratory Method for Preliminary Screening of Organic Fluorides as to their Enamel Solubility Reducing Effect. Helvet.Odontol.Acta 2, 40 (1958).

WOLF, J. — Plastische Histologie der Zahngewebe. Dtsch.Zahn-Mund-Kieferhk. 5, 265 (1940).

WOLF, J. und NEUWIRT, F. — Reparative Vorgänge an der Oberfläche natürlicher und künstlich hervorgerufener Schmelzdefekte. Dtsch.Zahn-Mund-Kieferhk. 7, 349 (1941).

L e b e n s l a u f

Am 22.Juli 1939 wurde ich, Hans Peter Traub, als Sohn des Zahnarztes Alfred Traub und seiner Ehefrau Erna, geb. Mannal, in Stuttgart geboren.

Nach dem Besuch der Grundschule (1945-1949) in Münchingen wechselte ich 1949 zum Gymnasium Korntal über. Im Februar 1958 legte ich dort die Reifeprüfung mit Erfolg ab.

Im Sommersemester 1958 begann ich das Studium der Medizin an der Universität Tübingen; im Wintersemester 1958/59 wechselte ich das Studienfach und studierte dann Zahnmedizin. Nach 5 vorklinischen Semestern bestand ich im Oktober 1960 die zahnärztliche Vorprüfung.

Das 6.Fachsemester belegte ich an der Universität Bonn. Vom Sommersemester 1961 an bis zum Wintersemester 1962/63 studierte ich wieder an der Universität Tübingen und bestand dort nach 10 Fachsemestern das zahnärztliche Staatsexamen. Am 25.Juni 1963 erhielt ich die Approbation als Zahnarzt.

Seit November 1963 arbeite ich als Assistent in einer zahnärztlichen Praxis in Nagold.

Fotodruck Frau Elly HUTH Tübingen